

引用格式: 洪娇莉, 林树枝, 施有志. 沿海地区综合管廊综合舱通风除湿数值模拟[J]. 科学技术与工程, 2019, 19(10): 195-203

Hong Jiaoli, Lin Shuzhi, Shi Youzhi. Numerical simulation of ventilation and dehumidification of integrated compartment in utility tunnel in coastal area[J]. Science Technology and Engineering, 2019, 19(10): 195-203

沿海地区综合管廊综合舱通风除湿数值模拟

洪娇莉¹ 林树枝² 施有志^{3*}

(厦门大学建筑与土木工程学院¹ 厦门 361005; 厦门市建设局² 厦门 361003; 厦门理工学院土木工程与建筑学院³ 厦门 361024)

摘要 基于沿海地区综合管廊内部湿度较大,对管线及支架造成不利影响的现象,以平潭综合管廊工程为依托,采用计算流体力学软件 Fluent 建立三维数值模型。模拟综合舱通风过程,分析通风对流下的速度场分布及温、湿度场变化情况。研究表明:通风作用下,温、湿度较快发生变化的位置出现在速度较大的地方;距进风口 100~180 m 处的各截面温、湿度场在变化过程中存在分层现象,应重点关注下层区域的温、湿度指标;通风是有效的除湿手段,但随着通风距离的增大,通风除湿效果呈减弱趋势,通风分区不宜过长。研究对综合管廊的通风实际运营管理有一定的实际应用价值。

关键词 综合管廊 湿度指标 通风 除湿 数值模拟

中图分类号 TU990.3; 文献标志码 A

综合管廊工程由于受到岩土或者土壤的包围,所处空间相对封闭、通风不足时,不能及时与外界进行热量、空气(包括水蒸气等)等的交换;随着工程及入廊管线散湿散热、地下水渗漏、结露,甚至管道漏水等情况的发生,容易造成潮湿、高温、空气不新鲜等问题。通风作为实现室内、外空气交换的一种手段,是解决廊内温、湿度及空气质量等问题、保障安全运营的重要途径之一。中国对于通风换气的研究起步较晚,多基于国外(尤其是北欧地区)较为成熟的研究体系,而北欧处于干燥气候区,与中国热湿气候不同,大多无须考虑湿度控制的问题,主要集中在温度及污染物分布等。目前中国针对通风除湿问题的研究,主要包括日光温室通风除湿、空调系统恒温恒湿控制等,如蒋国振^[1]就采用 CFD 软件对日光温室通风除湿问题进行研究,发现自然通风时,下沉深度的增加会减弱除湿效果,而风机通风除湿的效果则优于自然通风。对于综合管廊通风系统的研究,则主要集中在燃气泄漏控制、火灾烟气控制等方面,虽然也有部分学者针对综合管廊湿度问题进行研究,如沈鑫等^[2]从结露产生的机理及危害出发,梳理了综合管廊防结露的

建议与措施,唐葆华等^[3]则基于机电安装时的工人作业安全,量化了综合管廊室内的温、湿度指标[报警值分别为 37℃(310.15 K)、相对湿度 75%],但目前未见针对综合管廊通风除湿效果分析的相关研究。

为此,本文基于对综合管廊通风除湿重要性的分析,以平潭综合实验区综合管廊工程第 3 标段某区间段通风工程为研究对象,结合其通风系统设计,利用 Fluent 软件,将综合舱内的气体视为含水蒸气的混合气体,采用组分运输模型建立综合舱室内三维数值模型,分析其通风对流下的速度场分布及温、湿度场变化情况。

1 综合管廊通风除湿的重要性

1.1 综合管廊廊内湿负荷的来源

综合管廊作为地下工程的一种,廊内湿负荷的来源主要包括五个方面:外部空气带湿、主体结构散湿、自由水面散湿、人员散湿和管道渗漏。

1.1.1 外部空气带湿

由于管廊内外部温差,潮湿的外部空气进入地下建筑物内,其相对湿度随着周围温度的下降逐渐升高,甚至当周围温度低于其露点温度(空气在含湿量、气压都不变的情况下达到饱和时的温度)时,湿空气就会在壁面上结露,凝结成水。

1.1.2 主体结构散湿

管廊壁面存在施工缝、衬砌裂缝等,会造成地下水、衬砌外部的湿空气渗漏进廊内等现象,进而增大内部湿度。

2018年11月29日收到

福建省自然科学基金

(2016J01271)和中铁一局集团有限公司委托项目资助

第一作者简介:洪娇莉(1994—),女,福建厦门人,硕士研究生。研究方向:地下工程结构。E-mail: hongjl-xmu@foxmail.com。

*通信作者简介:施有志(1976—),男,福建晋江人,教授,博士。研究方向:岩土与地下工程。E-mail: 2013110907@xmut.edu.cn。

1.1.3 自由水面散湿

综合管廊廊内存在集水坑、地面水洼等自由液面,导致向空气中散湿不断发生,加重湿负荷。

1.1.4 人员散湿

在廊内,人员会通过呼吸、排汗、饮水等方式向空气中散湿,这与廊内温度、空气流动速度和人的工作状态等有关。

1.1.5 管道渗漏

综合管廊将给水、中水、污水等水系统管道纳入廊内,一旦管道开裂,也会发生渗漏,成为湿负荷的来源之一。

1.2 湿度对综合管廊的影响

以钢筋混凝土结构为例,碳化和碱-骨料反应均为影响结构耐久性的主要因素,而湿度则会影响混凝土的碳化、碱-骨料反应。高湿环境下,混凝土孔隙中充满水,阻止了 CO_2 的扩散,而湿度过低时,孔隙中则没有足够的水和 CO_2 反应生成碳酸,研究表明随着周围介质相对湿度的升高,混凝土结构的碳化速度呈现出先快后慢的变化趋势^[4-5],日本学者通过将在水中养护7 d的混凝土放置在不同湿度条件下继续养护16年的实验,得出相对湿度50%~60%范围内碳化速度最快的结论。而对于碱-骨料反应,有试验表明,环境越是潮湿多水,碱-骨料反应速度就越快、膨胀量也越大,当混凝土结构处于干燥环境或者环境相对湿度低于混凝土内部相对湿度,且混凝土内部相对湿度低于80%时,碱骨料反应会停止膨胀,当混凝土内部相对湿度低于75%时,碱骨料反应则无法进行^[6]。当混凝土保护层发生碳化或因碱-骨料反应膨胀开裂至钢筋表面后,混凝土包裹着的钢筋开始锈蚀,铁锈膨胀加速了混凝土保护层的龟裂,进而加速钢筋锈蚀,钢筋混凝土结构耐久性降低。

对于入廊金属管道来说,潮湿环境下容易发生电化学腐蚀^[7];而电缆受潮后,也容易导致信号泄漏,阻碍传输,甚至可能导致信号传输系统紊乱^[8];此外,对于廊内电气设备,相对湿度过高则会影响其绝缘性,甚至导致漏电的发生。

湿度是空气参数的重要指标,除了影响综合管廊主体结构(钢筋混凝土结构)、入廊管线及支架等的耐久性,也关系到人员健康^[9]。有效地控制综合管廊廊内空气的相对湿度,将会对提高混凝土结构和入廊管线的耐久性起到很好的促进作用,也为检修人员的安全和健康提供保障。通过梳理现有研究中管廊内部各湿度作用对象的适宜湿度指标,提出廊内湿度建议值,应用于廊内湿度控制,见表1。

表1 综合管廊相对湿度适宜指标

Table 1 The suitable indicator for relative humidity of the utility tunnel

对象	相对湿度指标/%	相对湿度建议值/%
主体结构	60~80	
金属管道	<70	
电力电缆	<85	60~70
电气设备	<75	
人员安全与健康	40~75	

1.3 除湿方式的选择

一般而言,除湿方式可以分为物理除湿、化学除湿两种类型,具体如表2。

表2 常见除湿手段

Table 2 The common dehumidification methods

除湿措施	除湿机理	特点
物理方式	通风 利用风机送、排风,加快空气对流,实现通风换气。	简单有效,但存在防爆问题。
	加热 通过加热器对空气进行加热,加速水分蒸发。	多余水分无法排出。
化学方式	干燥剂 通过干燥剂进行吸湿。	吸湿速度慢,成本高。

对于综合管廊而言,在维持合理湿度的同时也要保证温度适宜,同时除湿方式要求满足可持续原则。对于物理加热方式,无法排出廊内多余水分,且存在内部温度过高的风险;采用化学干燥剂进行吸湿处理,无法满足除湿速度的要求,同时干燥剂容易劣化,无法可持续地重复利用,成本较高。而物理通风方式,则可以简单地实现廊外干燥空气和廊内高湿空气的交换,是地下工程领域常用的除湿措施。

2 平潭综合实验区综合管廊概况

2.1 工程简介

以平潭综合实验区综合管廊工程第3标段通风工程为研究对象,工程地处福建省平潭县。平潭夏长冬短,温热湿润,且雨热同季,属于沿海一带,地下水位高,地下空间的潮湿程度明显,特别是夏天的雨季,综合管廊廊外高温高湿空气进入廊内后易冷却到露点温度,结露现象严重,进而导致廊内湿度加重。该标段标准断面如图1所示,总长度2.640 km,包括综合舱(敷设通信电缆、给水管道、中水管道、污水管道)、电力舱(敷设电力电缆)、燃气舱(敷设燃气管道),各舱室几何参数见表3。

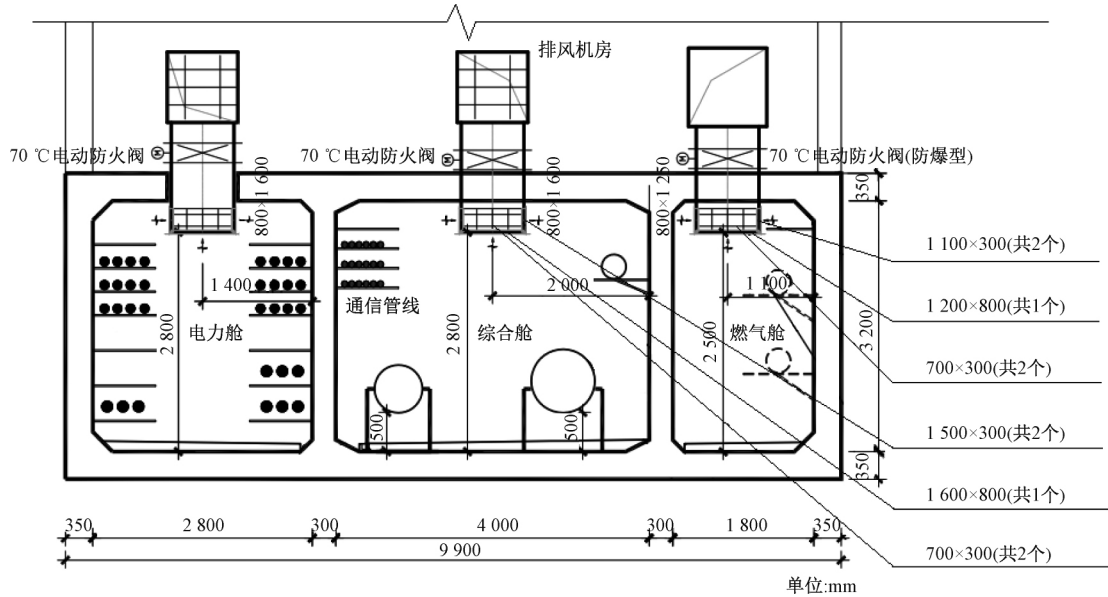


图1 平潭综合实验区综合管廊工程第3标段横断面图

Fig.1 The cross section of the 3rd section of the utility tunnel project in Pingtan Comprehensive Experimental Area

表3 各舱室几何参数

Table 3 The geometric parameters of each compartment				
舱室名称	宽度 W/m	高度 H/m	防火分区 长度 L_F /m	通风分区 长度 L_T /m
综合舱	4	3.2	400	400
电力舱	2.8	3.2	200	400
燃气舱	1.8	3.2	200	400

2.2 通风系统设计

工程中各舱室由隔墙完全隔开,并且均独立设置通风系统。各舱室防火分区如表2所示,由防火墙、防火门隔开,其中电力舱、燃气舱每2个防火分区作为1个通风分区,综合舱每个防火分区为1个通风分区。

国家标准 GB 50838—2015《城市综合管廊工程技术规范》^[10]中有以下规定。

(1) 通风方式宜采用自然进风、机械排风相结合,燃气舱及带有污水管道的舱室则应采用机械进、排风方式。

(2) 通风量应满足正常通风换气次数不应小于2次/h,事故通风换气次数不应小于6次/h(燃气舱正常通风换气次数不应小于6次/h,事故通风换气次数不应小于12次/h)。

(3) 通风口出风风速不宜大于5 m/s。

根据以上规定,各舱室中每个通风分区各设一个进风口和一个排风口(均为双层活动百叶风口),采用机械进、排风方式,设计风速按4~5 m/s,综合舱机械通风量按不小于6次/h,燃气舱按不小于12次/h,电力舱考虑到须排除电缆散热产生的余热

按不小于10次/h。

各舱室最小通风量计算公式为

$$q_0 = WHL_T n \tag{1}$$

式(1)中: q_0 为各舱室最小计算机械通风量; n 为对应的通风次数。

各舱室最小通风口面积计算公式为^[11]

$$A_{\min} = q_0 (3600 v_m S)^{-1} \tag{2}$$

式(2)中: A_{\min} 为最小通风口面积; v_m 为通风口最大风速,取5 m/s; S 为百叶遮挡系数,取0.8。

根据计算通风量对风机进行参数选型(选用风机通风量不小于最小计算机械通风量 q_0)。根据最小通风口面积对通风口百叶进行设置(通风口百叶面积不小于最小通风口面积 A_{\min}),各舱室通风口具体设置情况见表4,最大风速对应通风量为7.3次/h。

表4 各舱室通风口设置情况

Table 4 The ventilation settings for each compartment				
舱室名称	$q_0 / (\text{m}^3 \cdot \text{h}^{-1})$	$v_m / (\text{m} \cdot \text{s}^{-1})$	面积 A_{\min} / m^2	通风口百叶设置
综合舱	30 720.00	5	2.13	侧面:0.7 m×0.3 m×2面+ 1.5 m×0.3 m×2面; 底面:0.8 m×1.6 m×1面
电力舱	35 840.00	5	2.49	侧面:0.7 m×0.3 m×2面+ 1.5 m×0.3 m×2面; 底面:0.8 m×1.6 m×1面
燃气舱	27 648.00	5	1.92	侧面:0.7 m×0.3 m×2面+ 1.1 m×0.3 m×2面; 底面:0.8 m×1.2 m×1面

3 综合舱通风除湿数值仿真模型

3.1 几何模型与简化

工程的三个舱室中,综合舱横断面面积最大,通风量最小(不小于6次/h),且内部敷设通信电缆、水系统管道等多种类型管线,较为复杂,故以综合舱为具体研究对象,建立其通风除湿数值仿真模型。模型中忽略管线支架并考虑百叶遮挡,对通风分区、进、排风口等的几何参数进行简化,如表5所示。

表5 通风分区模型几何参数

Table 5 The geometric parameters of the ventilation zone model

长度/m	宽度/m	高度/m	进(排)风口		
			长度/m	宽度/m	高度/m
400.0	4.0	3.2	1.4	0.6	0.3

其中百叶进、排风口分别设置在综合舱室的两端;每排通信电缆(仅考虑两排)简化为半径160 mm的空心圆柱体;水系统管道内部结构及流动不是研究重点,故只根据管道实际外轮廓进行建模,如图2所示。

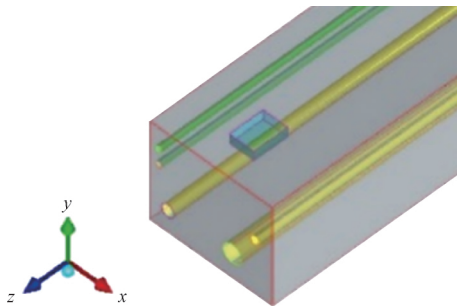


图2 综合舱几何模型

Fig. 2 The geometric model of the integrated compartment

采用前处理器ICEM CFD 17.0建立比例为1:1的几何模型,并进行六面体结构化网格划分(电缆侧、管道侧采用O型网格),对综合舱内部空间进行离散化,网格断面图如图3所示,共计4 259 327个网格。

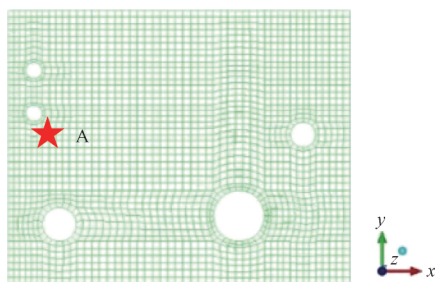


图3 网格断面

Fig. 3 The grid section

3.2 计算模型的确定

综合管廊内的空气流动属于流体运动,遵循质量守恒定律、动量守恒定律和能量守恒定律等基本物理守恒定律。

在对廊内湿度的分析中,将水蒸气当作扩散气体,其运动状态只与气流速度和扩散率有关,马晓钧^[12]针对水蒸气在空气中的传播进行数学描述,提炼出水蒸气输运方程:

$$\frac{\partial \rho C(t)}{\partial t} + \frac{\partial \rho C(t) U_j}{\partial x_j} = \frac{\partial}{\partial x_j} \left[\Gamma_{\text{ceff}} \frac{\partial C(t)}{\partial x_j} \right] + S(t) \quad (3)$$

$$\Gamma_{\text{ceff}} = \frac{\mu_1}{\sigma_1} \quad (4)$$

式中: Γ_{ceff} 为水蒸气的有效扩散系数; $C(t)$ 为时刻 t 下的瞬时含湿量; x_j 分别指 x 、 y 、 z 三个方向; U_j 分别指 x 、 y 、 z 三个方向上的速度分量; $S(t)$ 指水蒸气源项。

对模型做如下简化。

(1) 假设廊内外空气交换只在进、排风口处进行,忽略其他渗漏气流的可能性。

(2) 假设各个边界之间互相独立,且各边界内部材料参数相同。

(3) 假设廊内初始温、湿度值沿着长度方向不发生变化,为固定初始值。

在FLUENT 17.0中的求解条件设置上,湍流模型选择标准 k -epsilon 模型求解器,选用SIMPLEC算法、PISO算法分别作为基于压力的稳态、瞬态求解方法。将energy的残差监控值设为 10^{-5} ,其余各物理量的残差监控值设为 10^{-3} ,当残差满足要求且进、排风口的质量流量一致时,结束迭代计算。

3.3 边界条件

对于模型边界条件设置如下:进风口采用机械送风方式,设为速度入口;排风口采用机械排风方式,设为速度出口;壁面主要包括主体结构壁面、管道侧壁面以及通信电缆,假设土壤温度场均匀且恒定,忽略主体结构内的温度变化,将主体结构壁面设定为恒壁温边界条件,对于管道侧壁面,假设管道无渗漏,由于所输送液体的比热容较大,可忽略沿程温度变化,也采用恒壁温边界条件,而通信电缆发热量很小,可以忽略其影响,设为绝热边界条件。

《GB 50019—2015 工业建筑供暖通风与空气调节设计规范》^[13] 中规定:夏季用于消除室内余湿的通风工况下,宜采用夏季通风室外计算干球温度、夏季通风室外计算相对湿度,并用对应的含湿量来计算具体通风量。具体边界设置情况(考虑廊内湿度最不利情况)如表6所示。

表6 边界条件设置
Table 6 The boundary condition settings

进风速 度 $V_{\text{进}} /$ ($\text{m} \cdot \text{s}^{-1}$)	排风速 度 $V_{\text{排}} /$ ($\text{m} \cdot \text{s}^{-1}$)	进、排风 口面积 A / m^2	通风量 $Q / (\text{m}^3 \cdot \text{h}^{-1})$	进风温 度 $T_1 /$ $^{\circ}\text{C}$	进风湿 度 $H_1 /$ $\%$	廊内温 度 $T_0 /$ $^{\circ}\text{C}$	廊内湿 度 $H_0 /$ $\%$
5	-5	2.04	36 720.00	33.1	61	30	100

注:通风量 $Q=3\ 600AV_{\text{进}}/V_{\text{排}}$; A 为考虑百叶遮挡后的风口有效面积。

4 数值仿真结果与分析

4.1 稳态结果与分析

在风机持续稳定运行后,可以认为该通风分区区间段内的速度场趋于稳定,故采用稳态模拟对速度场进行分析 z 向速度场分布云图如图4所示。

从图4中可以看出:在给定通风风速的情况下,综合舱进风口处由于风机进风作用,风速较大,最大速率为5.05 m/s左右,出现在垂直于百叶风口通风

面的范围内,来自侧面百叶的气流沿着管廊壁面流动,与来自底面百叶的气流形成气流回路,并向周围逐渐扩散,管线周边速率较小,最小速率仅为0.25 m/s左右,该截面平均风速为2.17 m/s;在排风口处,由于排风机作用,也加快了空气对流速率,越靠近排风口,速率越大,截面平均风速约为0.93 m/s;而对于舱室内部(各截面平均风速约为0.80 m/s),随着舱室长度的增加,室内速率不断下降,具体表现如下。

(1) $z=2.5\sim25\text{ m}$ 范围内,风速沿着舱室长度方向的下降幅度较为明显,靠近进风口处,受到来自侧面百叶的气流的影响,速度场表现为中间及四周速率较大、管线周边速率较小,沿舱室长度逐渐向通信电缆一侧速率大(最大)、水系统管道一侧速率小变化。

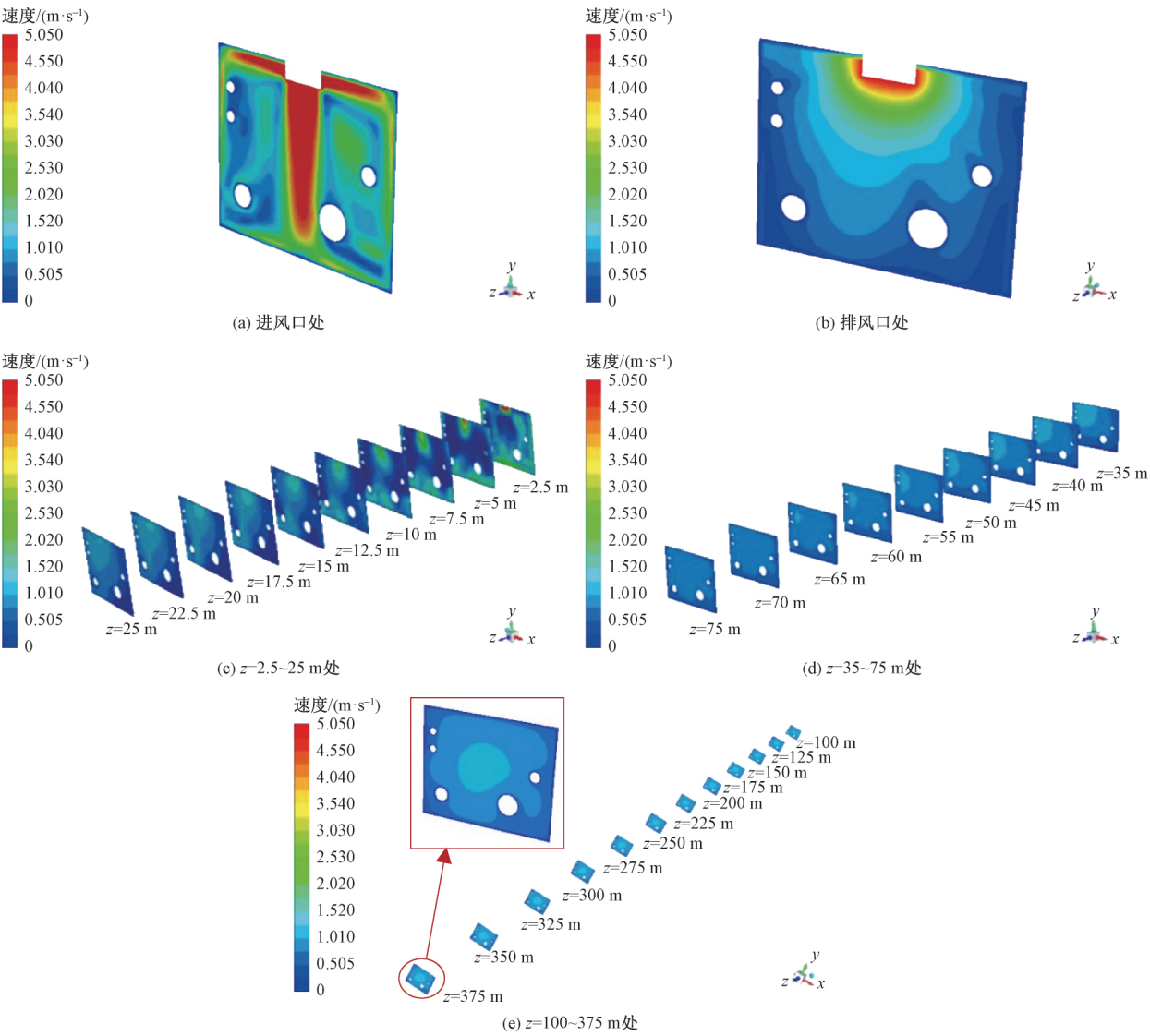


图4 z 向速度场分布
Fig. 4 The z -direction velocity field distribution

(2) $z = 35 \sim 75$ m 范围内,速率分布逐渐由通信电缆一侧速率较大(约为 1.01 m/s 左右)、水系统管道一侧(特别是靠近管廊壁面)速率则较小(管道周边速率约为 0.51 m/s 左右,管道处仅为 0.25 m/s 左右),向截面中间速率大、四周速率小变化。

(3) $z = 100 \sim 375$ m 范围内,舱室内部速率分布较为稳定,最大速率出现在截面中间(约为 1.01 m/s 左右),速率大小沿着截面中间向四周呈逐渐降低趋势,靠近壁面处速率最小,约为 0.25 m/s 左右。

而随着风机的运行,外界空气(气温 33.1 °C 和相对湿度 61%) 在进入舱室内部后,与内部空气(气温 30 °C 和相对湿度 100%) 发生接触,两者之间存在的温、湿度梯度差加快了空气对流,随着室内、外空气交换的进行,室内的温、湿度指标逐渐接近进风参数,最后达到稳定的状态(内部气温 33.1 °C 和相对湿度 63.57%) ,实现除湿效果。

4.2 非稳态结果与分析

该通风分区区间段内的温、湿度场的变化与风机的运行状态有关,故采用非稳态模拟对温、湿度场进行分析。

4.2.1 z 向截面温湿度场分布情况($t = 10$ s)

图 5 为风机运行 10 s 后的 z 向截面各物理量分布云图。

从图 5 中可以看出: $z = 2.5$ m 处截面的速度场呈现为四周速率较大、中间速率较小,故相比于中间部分,四周温、湿度场很快达到进风水平;对于 $z \geq 22.5$ m 范围内的各个截面来说,由于整体速率偏低,故温、湿度场的变化幅度也较小;对于温、湿度场而言,二者变化规律一致,温度大即湿度小;温、湿度值受速度场影响,较快发生变化的位置出现在速度较大的地方,对于靠近进风口处的截面(如 $z = 5$ m 处截面),中间及两侧管线周边的气流变化较慢。

4.2.2 z 向截面温湿度场分布情况($t = 180$ s)

图 6 为风机运行 180 s 后的 z 向截面各物理量分布云图。

从图 6 中可以看出:速度场由沿中间向四周逐渐减小转变为沿上部到下部逐渐减小,且逐渐稳定;对于 $z = 100 \sim 180$ m 处的各截面的温、湿度场,二者沿截面的变化趋势相同,在同一截面上存在分层现象,上层区域温度较大、湿度较小,即进风在入廊稳定后,会先影响廊内上部气流,使上层区域的实际温、湿度指标先达到进风水平,对于该范围内的截面,应重点关注下层区域的温、湿度指标。

4.2.3 沿长度方向温湿度场变化情况

从入廊管线的耐久性出发,对管线敷设处(本

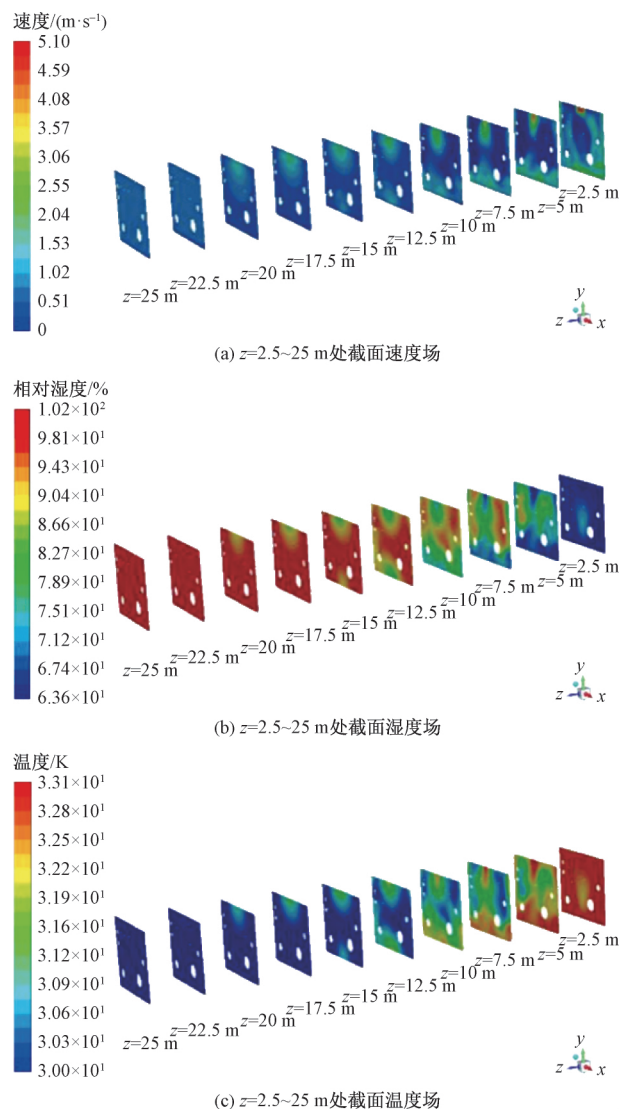


图 5 $t = 10$ s 时 z 向截面速度温湿度场

Fig. 5 The velocity, temperature and humidity field of the z -direction sections when $t = 10$ s

文以敷设通信电缆的位置为研究对象,即 A 处)在不同时刻下沿长度方向的温湿度变化情况进行分析,如图 7 所示。

从图 7(a)、图 7(b) 中可以看出,在风机运行 $0 \sim 180$ s 期间内:温、湿度曲线随着风机的运行逐渐平稳,且二者之间变化规律一致;每过 60 s,达到 70.0% RH 指标的范围都推进了近 50 m,可以有效进行除湿;越靠近进风口处,速度值越大,湿度的下降速度也越快,对于 $z = 35$ m 处附近的截面,湿度从开始变化到降低至 63.6% RH 大约需要 60 s,而随着通风距离的增大,通风除湿效果呈减弱趋势,对于 $z = 75$ m 处附近的截面,湿度从开始变化到降低至 64% 则需要 80 s 左右,故通风分区不宜过长。

从图 7(c) 中可以看出,通风 10 min 后, A 处沿管廊长度方向的相对湿度指标基本都降至 70% 以

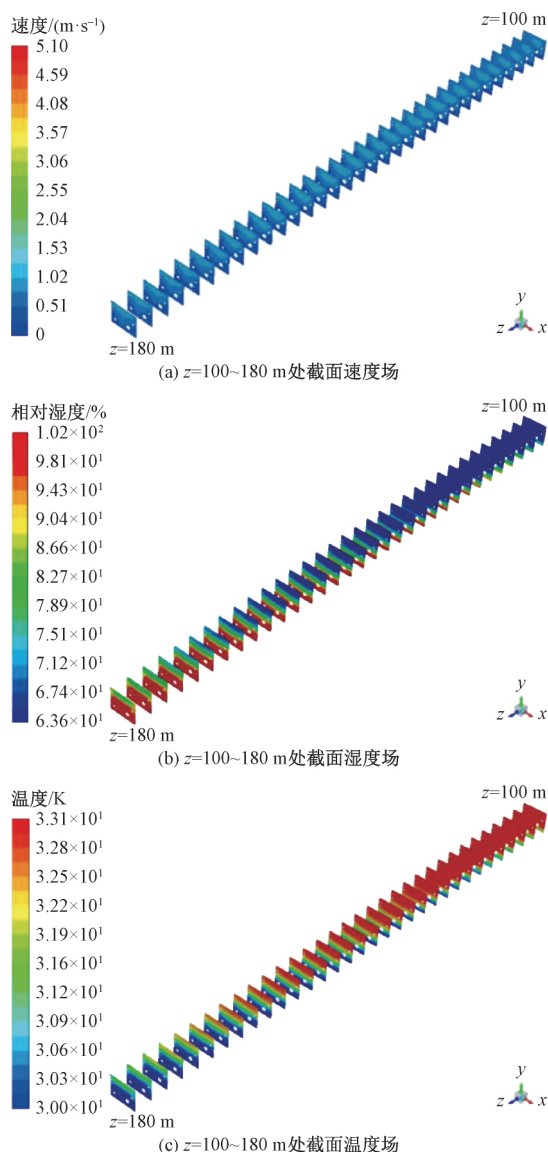
图6 $t = 180$ s 时 z 向截面温湿度场云图

Fig. 6 The velocity, temperature and humidity field of the z -direction sections when $t = 180$ s

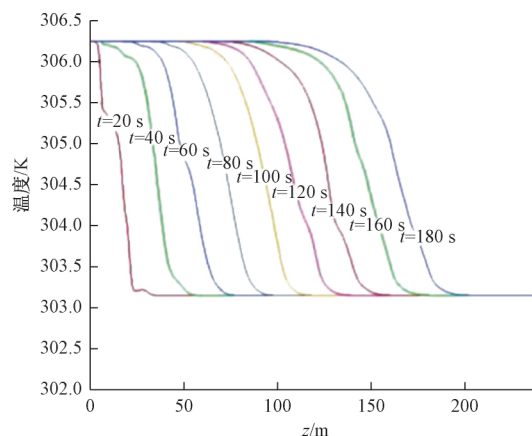
下,在合理范围内。在排风口附近,湿度指标仍处于较高水平,且通风除湿效果较差,以 $z = 399$ m 处为例,湿度从开始变化到经过 220 s 后,仅降低至 87.5% 左右。

4.3 综合管廊相对湿度监控

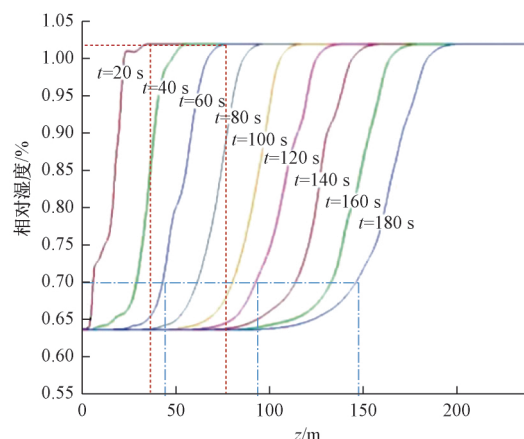
为提高主体结构、入廊管线及支架的耐久性,保障人员安全与健康,应在运营期间对综合管廊相对湿度进行监控,而分析结果可为廊内相对湿度的监控工作提供参考。

4.3.1 风机的启动与关闭

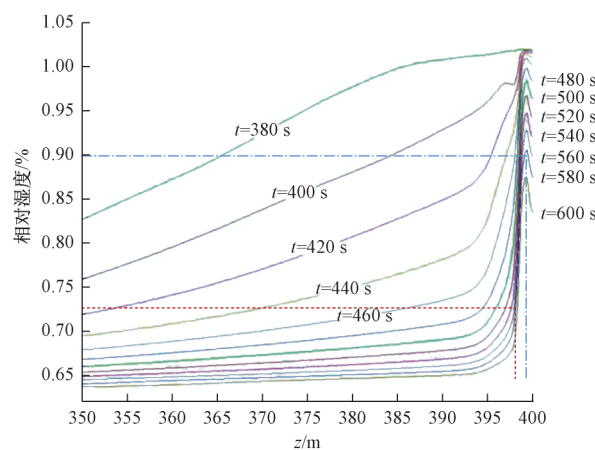
将综合管廊相对湿度设计值设为 60% ~ 70%,当廊内某通风分区湿度监测值大于 70% 时,应启动该通风分区内的进、排风机进行通风除湿处理;待监测值降至 60% ~ 70% 范围内且达到稳定(即前后两



(a) 温度变化曲线



(b) 湿度变化曲线1



(c) 湿度变化曲线2

图7 A 处不同时刻下沿长度方向的温湿度变化曲线

Fig. 7 The temperature and humidity changing curves along the length at different times of A point

次监测值一致)后,可关闭风机。

4.3.2 重点监测位置

对于通风过程中的温湿度指标,进风口处附近截面应重点关注管线周边,而距进风口超过 25 m 的各截面则应重点关注下层区域。

4.3.3 该区段

在夏季工况下,经过 7.3 次/h 的机械通风量

(进、排风速 5 m/s) 通风约 10 min 后,通信电缆处的相对湿度指标基本都能降至 70% 以下,但在排风口附近,湿度指标仍处于较高水平。排风口附近通风除湿效果较差,应重点做好管线、支架等的防潮处理。

5 结 论

在梳理综合管廊通风除湿重要性的基础上,建议将廊内湿度控制在 60% ~ 70% 范围内,并以平潭综合管廊工程为依托,对综合舱中一个通风分区区间段内的通风系统进行设计,通过数值模拟分析其通风对流下的速度场分布及温、湿度场变化情况,得出以下结论。

(1) 风机稳定运行后,通风分区区间段内的速度场趋于稳定,进风口处截面平均风速约为中间截面的 2.7 倍。

(2) 风机运行 180 s 后,距进风口 100 ~ 180 m 范围内的各截面温、湿度场存在分层现象,上层区域的实际温、湿度指标会先达到进风水平,下层区域的温、湿度指标应重点关注。

(3) 随着通风距离的增大,通风除湿效果呈减弱趋势,通风分区不宜过长。

(4) 在综合管廊的运营期间,当廊内某湿度监测值大于 70% 时,应启动风机除湿。夏季工况下,该工程经过 7.3 次/h 的机械通风量通风约 10 min 后,通信电缆处的相对湿度指标基本都能达到合理范围,但在排风口附近,湿度指标仍较高,而且通风除湿效果较差,应重点做好防潮处理。

参 考 文 献

- 蒋国振. 基于 CFD 的下沉式日光温室模拟与除湿研究[D]. 杨凌: 西北农林科技大学, 2012
Jiang Guozhen. Simulation and dehumidification of sinking sunlight greenhouse based on CFD [D]. Yangling: Northwest A & F University, 2012
- 沈 鑫. 城市综合管廊防结露问题探讨[J]. 现代建筑电气, 2018, 9(5): 16-19
Shen Xin. Discussion on problems of anti condensation in urban utility tunnel [J]. Modern Architecture Electric, 2018, 9(5): 16-19
- 唐葆华, 张 宝, 孟庆礼, 等. 地下综合管廊室内施工环境危害识别[J]. 施工技术, 2018, 47(增刊 1): 642-644
Tang Baohua, Zhang Bao, Meng Qingli, et al. Indoor atmosphere hazard identification in urban utility tunnels installation construction [J]. Construction Technology, 2018, 47(S1): 642-644
- 柳俊哲, 吕丽华, 李玉顺. 混凝土碳化研究与进展(2)——碳化速度的影响因素及碳化对混凝土品质的影响[J]. 混凝土, 2005 (12): 10-13, 17
Liu Junzhe, Lü Lihua, Li Yushun. Review of carbonation in reinforced concrete (II): Factors influencing carbonation rate of concrete and carbonation effect on concrete structure [J]. Concrete, 2005 (12): 10-13, 17
- 余 波, 成 荻, 杨绿峰. 混凝土结构的碳化环境作用量化与耐久性分析[J]. 土木工程学报, 2015, 48(9): 51-59
Yu Bo, Cheng Di, Yang Lufeng. Quantification of environmental effect for carbonation and durability analysis of concrete structures [J]. China Civil Engineering Journal, 2015, 48(9): 51-59
- 阎宏生. 混凝土碱骨料反应的成因及其预防措施[J]. 粉煤灰综合利用, 2008(6): 47-50
Yan Hongsheng. The causes and avoiding measures of concrete alkali-aggregate reaction [J]. Fly Ash Comprehensive Utilization, 2008 (6): 47-50
- 成纯赞. 金属管道的腐蚀及防腐对策[J]. 给水排水, 2004(11): 93-96.
Cheng Chunzan. Corrosion and antiseptic strategy of metal pipelines [J]. Water & Wastewater Engineering, 2004(11): 93-96.
- 王水成, 吴春玲. 同轴电缆的湿度特性及防潮措施[J]. 电视技术, 2006(6): 81-82
Wang Shuicheng, Wu Chunling. Humidity characteristics and moisture protection measures of coaxial cable [J]. Video Engineering, 2006(6): 81-82
- Lindfors A, Wickman M, Hedlin G, et al. Indoor environmental risk factors in young asthmatics: A case-control study [J]. Archives of Disease in Childhood, 1995, 73(5): 408-412
- 中华人民共和国住房和城乡建设部. 城市综合管廊工程技术规范: GB 50838—2015[S]. 北京: 中国计划出版社, 2015
Ministry of Housing and Urban-Rural Development of the People's Republic of China. Technical code for urban utility tunnel engineering: GB 50838—2015 [S]. Beijing: China Planning Press, 2015
- 陆耀庆, 陈 涛. 供暖通风设计手册[M]. 北京: 中国建筑工业出版社, 1987
Lu Yaoqing, Chen Tao. Heating and ventilation manual [M]. Beijing: China Architecture & Building Press, 1987
- 马晓钧. 通风空调房间温湿度和污染物分布规律及其应用研究[D]. 北京: 清华大学, 2012
Ma Xiaojun. Research on the theory and application of temperature, moisture and contaminant distribution in ventilated room [D]. Beijing: Tsinghua University, 2012
- 中国有色金属工业协会. 工业建筑供暖通风与空气调节设计规范: GB 50019—2015[S]. 北京: 中国计划出版社, 2015
China Nonferrous Metals Industry Association. Design code for heating ventilation and air conditioning of industrial buildings: GB 50019—2015 [S]. Beijing: China Planning Press, 2015

Numerical Simulation of Ventilation and Dehumidification of Integrated Compartment in Utility Tunnel in Coastal Area

HONG Jiao-li¹, LIN Shu-zhi², SHI You-zhi^{3*}

(School of Architecture and Civil Engineering, Xiamen University¹, Xiamen 361005, China; Xiamen Construction Bureau², Xiamen 361005, China; School of Civil Engineering and Architecture, Xiamen University of Technology³, Xiamen 361024, China)

[Abstract] The air humidity, inside the utility tunnel in the coastal is high which could negatively impact the pipelines and the brackets. Relying on the design of the ventilation system of the Pingtan Utility Tunnel project, the computational fluid dynamics software Fluent is used to establish a 3D numerical model to simulate the ventilation process of the integrated compartment, and to analyze the velocity field distribution and the temperature and humidity field transformation under ventilation convection. The research shows that the position where the temperature and humidity change rapidly appears in the place with high speed under ventilation. The temperature and humidity fields of each section from 100 m to 180 m from the air inlet are stratified during the change process. The temperature and humidity indicators of the lower area need to be concerned. Ventilation is an effective means of dehumidification. However, as the ventilation length increases, the dehumidification effect gradually decreases. The length should not be too long. The study has practical value on the actual operations management of the utility tunnel ventilation.

[Key words] utility tunnel humidity indicator ventilation dehumidification numerical simulation